

# 디스크 받침용 고무패드의 거동 및 강성추정

## The Behavior and Estimated Stiffness Rubber Pad for Disk Bearing

조성철\*  
Cho, Sung-Chul

최은수\*\*  
Choi, Eunsoo

박주남\*\*\*  
Park, Joonam

김만철\*\*\*\*  
Kim, Man-Cheol

---

### ABSTRACT

The aim of the present study is the characteristics of bridge rubber pads and suggested how to determine the stiffness the pads. A disk bearing is operated as an elastic bearing in the vertical direction and is composed of a Polyether Urethane (Polyurethane) disk for elastic support and Polytetrafluoroethylene (PTFE) to accommodate movement. Static tests are conducted in a laboratory to determine the static behavior of a Polyurethane disk. Finite Element (FE) analysis is also performed to verify the static performance. For dynamic behavior, four disk bearings having the identical Polyurethane disk used in the static tests are installed in a full size railway bridge and tested under a running locomotive. From the tests results, the static and dynamic stiffness of disk bearings are estimated and compared with each other. In the procedure to estimate the stiffness of a pad, the dead load(pre-load) of a bridge and live load of a vehicle are considered.

---

### 1. 서 론

주행하는 철도차량은 차량의 하부시스템 궤도, 노반 및 교량, 터널의 상태에 따라서 승차감에 크게 영향을 받으며 교량 상에서 차량의 승차감은 교량의 진동가속도 및 발생 처짐 등에 의해서 영향을 받는다 고 분석되고 있다. 여기에 추가적으로 교각 및 교대에 설치되어 있는 교량받침에 의한 지지강성의 변화가 차량의 승차감에 영향을 주는 요인으로 제기되고 있다. 현재 국내 일반철도교에서 전체 교량의 40% 이상을 차지하는 판형교의 경우 도상이 없어 차량의 충격이 교량에 그대로 전달되기 때문에 소음과 진동이 크게 발생하며, 받침의 손상 또한 많이 발생하고 있다(오세환 외, 2005). 판형교의 대표적인 받침이라고 할 수 있는 선받침은 일종의 강체받침으로 이러한 충격을 하부의 교량받침 콘크리트(보자리)에 그대로 전달되기 때문에 충격으로 인한 콘크리트의 파손이 심각하다. 판형교의 손상부위 중 교량받침이 전체의 1/3 이상을 차지하고 있는 것도 바로 이러한 이유 때문이다(최은수 외, 2005). 최근 내진설계가 반영되지 않은 교량이 상당수 존재하는 국내에도 지진의 발생 빈도가 높아짐에 따라 피해 상황도 보고되고 있으며 받침부 파손에 따른 피해도 늘어나고 있는 추세이다. 지진에 의해 상부구조의 중심위치에 관성력이 발생하면 교량의 받침부에는 연직방향 및 수평방향 하중이 교대로 작용하게 된다. 일반적으로 내진설계가 수행되지 않는 받침부는 수평하중에 매우 취약하다. 과거 지진에 의한 교량의 피해를 살펴보면 교량받침의 손상이 과반수에 달하였으며 그 중 앵커볼트, 받침모르타르, 받침콘크리트, 이동제한장치 등에 피해가 많다. 앵커볼트와 받침 모르타르의 피해는 노후교량에서 많이 발생하며 주로 앵커볼트의 부식과 무수축 모르타르의 시공 불량으로 인한 것이 많다. 한편, 받침 이동제한장치의 피해는 지진시 이동제한장치에 작용하는 하중에 대한 저항능력 부족으로 인한 것이다. 고정단 받침부에 지진시 받침부의 용

---

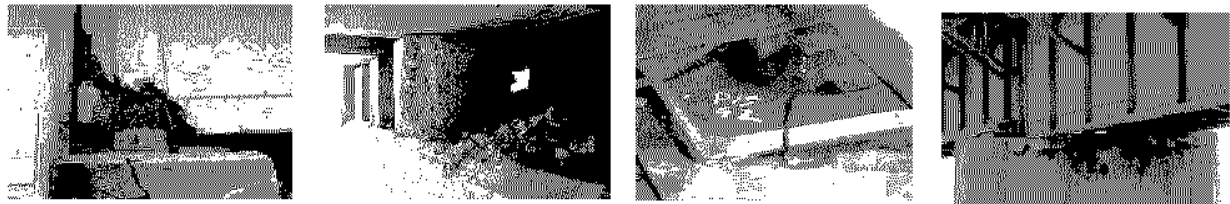
\* 비회원, 한양대학교, 토목공학과, 박사과정  
E-mail : mk4722@hanyang.ac.kr  
TEL : (031)460-5370 FAX : (031)460-5359

\*\* 정희원, 홍익대학교, 토목공학과, 조교수

\*\*\* 정희원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 선임연구원

\*\*\*\* 정희원, 한국철도기술연구원, 차륜계도연구실, 책임연구원

량을 초과하는 과도한 수평변위에 의한 손상을 발생시키며 과도한 거더의 이동량에 따른 낙교방지블럭의 파손이 발생된다. 그림 1에 나타난 바와 같이 교량 받침의 손상은 교량 종류에 관계없이 교량의 전체로 전파될 수 있다. 또한 철도교에서 차량의 주행에 따른 교량받침의 들림 현상을 관측할 수 있는데, 이는 고정 사하중이 차량하중에 비하여 상대적으로 크기 때문이다. 이는 철도교의 특징으로 판형교에서 특히 많이 발생하며 판형교의 교량받침의 경우 이에 대한 저항성이 특히 요구된다(최은수 외, 2007). 상시에 발생하는 수평변위 및 회전을 원활하게 하기 위하여 설치한 고무판, 황동판이나 PTEE등은 주기적으로 교체 하여야 하며, 이에 대한 유지관리와 받침성능의 연구개발이 필요하다(박성우 외, 2008).



(a) 고정단받침부 손상 (b) 낙교방지블럭의 손상 (c) 보자리물탈 균열 (d) 교각보자리 하부파손

그림 1 고정단 받침부 손상 및 낙교방지블럭의 손상

## 2. 연구개요

앞서 언급한 문제점들을 해결할 수 있는 방법으로 교좌에 고무패드를 설치하는 것이다. 고무패드는 충격을 완화하고 소음을 차단하며, 내구성이 뛰어나 부식의 위험이 없고 고무패드 자체의 변형으로 회전에 대한 탄성지지를 할 수 있는 장점이 있어 단순하면서 경제적인 도구이다(최은수 외, 2005). 고무 패드를 교좌에 사용한 역사는 오래되었다. 크로로프렌 고무패드의 경우 1931년에 개발된 이후로 교좌장치로 30년 이상을 사용되어왔다면 최근에는 폴리우레탄 고무가 교량용 패드로 많이 사용되고 있다(Burpulis et al., 1990). 고무 베어링에 대한 연구는 1980년대 AASHTO를 위한 연구가 Stanton과 Roeder에 의해 집중적으로 수행되었다(Stanton and Roeder, 1985; Roeder et al., 1987). 이들은 모두 고무패드에 강판으로 보강되어진 고무베어링에 대한 연구들이며 고무패드 자체에 대한 연구는 많이 이루어 지지 않았다. 그러나 고무패드는 30년이 넘게 사용되어진 교좌 장치로 미국, 일본 등 널리 사용되었으며, Burpulis는 30년 이상 사용된 고무패드를 획득하여 실험을 실시하였는데 상당히 양호한 상태였음을 증명하였다. 고무베어링 패드는 특별한 경우를 제외하고 앵커나 볼트 등에 의한 거더의 연결이 없이 하부에 설치되는 단순한 구조를 가지는데 수평방향에 대한 저항은 고무베어링 패드와 거더 또는 하부구조의 표면에 발생하는 저항이 전부로 거더의 온도 팽창과 수축이 발생에 의하여 고무베어링 패드가 본위치에서 이탈 될 수 있는 문제를 가지게 된다(Heymsfield et al., 2001). (Yazdani et al., 2000)는 유한요소 해석을 통하여 고무베어링의 각 방향 강성(stiffness)를 추정하였으며 AASHTO (1996)에서 제안한 방법에 의해서 계산한 강성과 비교한바 있다. AASHTO에 의한 강성이 크게 나타났는데, 이는 고무의 비선형 거동을 고려하였기 때문이다. 현재 폴리우레탄 패드가 내장되어있는 디스크 받침을 사용하고 있는데, 차량 주행의 충격에 의한 교량받침의 손상을 억제하고 콘크리트의 파쇄를 방지하면서 발생가능한 지진에 대하여 저항할 수 있는 내진성능을 보유한 받침이다. 그림 2에 판형교에서의 고무받침 이탈현상과 고무 및 디스크 받침의 형상을 나타내었다. 폴리우레탄 디스크 거동의 특성은 천연고무와 같이 비선형이며, 재하경로(load path)와 제하경로(unload path)가 불일치하는 약간의 감쇠를 나타내는 거동을 한다. 고무는 일반적으로 재하 진동수 (loading frequency) 및 기하중(pre-load)의 크기에 따라서 발현하는 강성이 크게 변화한다. 폴리우레탄 디스크도 고무의 이러한 특성을 보인다. 따라서 복잡한 거동특성을 보이는 폴리우레탄 디스크의 강성 결정은 탄성받침의 변형과 교량의 거동예측에 매우 중요한 인자이다. 본 연구에서는 디스크의 강성을 결정하기 위해 디스크 받침을 제작하여 정적 재하실험을 실시하고 디스크 받침용 고무패드의 수직강성을 추정하였다. 또한 해석적 연구를 수행하여 이와 비교함으로써 디스크의 수직 강성 및 수평강성

을 추정하였다.

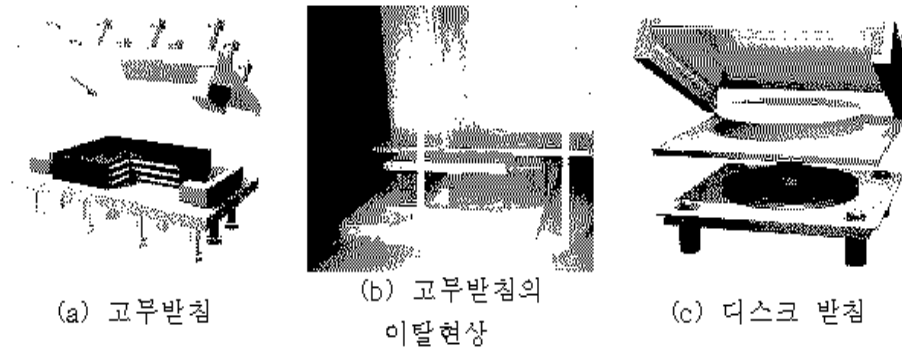


그림 2 고무받침 및 이탈현상과 디스크 받침의 형상

### 3. 디스크 실험

디스크 받침은 폴리우레탄 패드를 사용하여 수직방향 및 회전에 대한 탄성을 발현하고 중앙의 핀을 사용하여 디스크의 이동을 제어한다. 가동단의 경우 PTFE (polytetrafluoroethylene)를 사용하여 교량의 온도팽창 등에 의한 움직임을 흡수할 수 있도록 고안되었다(그림 2(c) 참조). 폴리우레탄 패드는 경도(hardness)가 95A-65D로 일반고무의 50A-70A보다 월등하여 상대적으로 작은 형상계수에서도 더 큰 수직강성을 발현하여 보강 없이도 교량받침으로 사용 가능하다(최은수 외, 2005). 또한 폴리우레탄은 내구성이 뛰어나 공기와 접촉하고 있어도 부식 등의 위험이 거의 없고 구조가 간단하며 모든 구성품을 육안으로 관찰 가능하여 유지관리에 장점이 있다. 본 연구에서 사용한 탄성받침은 폴리우레탄 패드를 사용하는 디스크 받침을 사용하였다(그림 2(c) 참조). 디스크 받침은 고정단 형성을 위해서 중앙에 고정핀이 있으며, 가동단 설치를 위해서는 받침상부에 PTFE (polytetrafluoroethylene)를 사용하여 온도팽창 등에 의한 교량의 이동을 흡수하도록 설계되어 있다. 수직설계하중은 100 ton이며, 교축직각 방향에 대한 저항력은 20 ton으로 제작되었다. 패드의 크기는 외경 250 mm, 내경은 58 mm이며 두께는 20 mm이다. 고정핀의 직경도 58 mm로 패드의 내경이 완전히 밀착하여 삽입되므로, 하중에 의해서 내부의 자유면 (free surface)에서는 부풀음 (bulging) 현상이 발생하지 않는다.

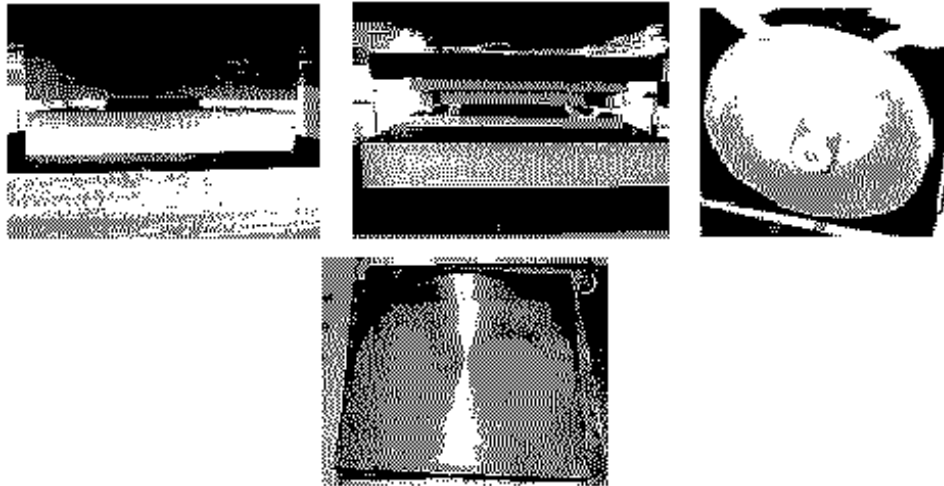
정적재하하중을 100 ton으로 하여 정적 재하실험을 실시하였다. 또한 100 ton 재하 시에는 재하 속도를 다르게 하여 실험을 실시하였다. 시험기는 최대 200 ton 재하가 가능하며 재하속도를 조절이 가능한 시험기를 사용하였다. 디스크 중앙에 핀을 사용하기 위해서는 탄성받침의 스텝플레이트를 포함하는 받침 전체를 압축해야하고, 핀이 없는 경우에는 받침의 스텝플레이트를 제거하고 실험을 실시하였다. 그림 3에 실험 전경과 스텝플레이트 및 가력판을 나타내었다.

실험결과는 그림 4에 나타나 있다. 그림 4(a)는 핀과 스텝플레이트가 있는 경우 대한 결과이고, 그림 4(b)는 핀과 스텝플레이트가 없는 경우의 결과이며, 그림 4(c)는 두 경우의 결과를 비교한 것이다. 실험에서 하중의 재하 속도는 최대하중인 100 ton은 경우에는 981 kN/min에서 일정하게 속도를 증가시켜 하중속도에 대한 영향을 파악하였다. 폴리우레탄 디스크 정적 재하실험에서 공통적인 특징은 잔류변형이 1 mm 내외로 존재하는 것이다. 잔류변형의 크기는 하중의 크기 및 형상계수에 따라 달라질 것이다. 이러한 잔류변형은 시간이 지나면 회복하게 된다. 그림 4(a) 및 (b)에 나타난 바와 같이 재하속도를 증가시키면 디스크의 강성이 약간 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이는 차량하중과 같이 빠른 속도로 재하 되는 경우에는 디스크 강성이 크게 변화할 수 있음을 의미한다.

그림 4(c)에서는 받침에서 핀의 유무에 따라 디스크 거동의 차이를 보여주고 있다. 하중 재하시의 최대하중과 최대변형을 이용하여 추정한 강성은 핀이 없는 경우, 185kN/mm 이고 핀이 존재하는 경우 236 kN/mm로서, 하중재하 시에는 56.2%의 강성 증가가 나타나고 있다. 핀의 역할은 위에서 언급한 것과 같이 디스크의 형상계수를 증가시킨다. 이는 디스크의 자유표면을 감소시켜 디스크에 압축력이 작용할

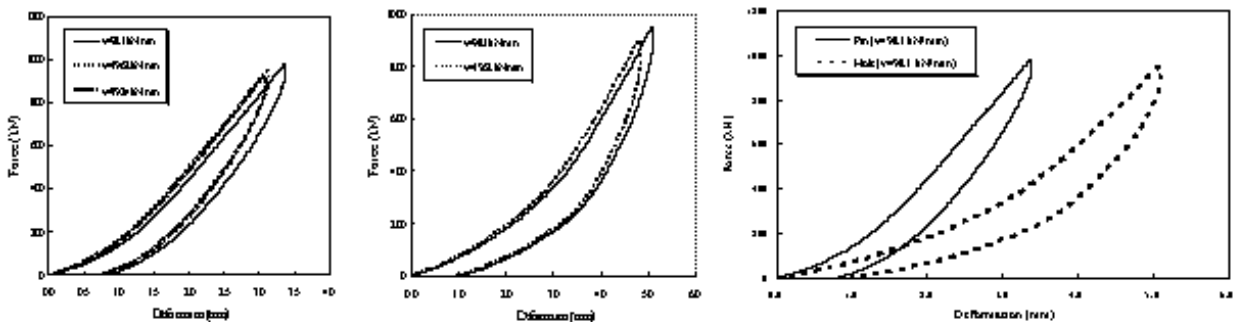
경우 디스크가 팽창할 수 있는 면적을 감소시키는 것이다. 고무재질은 비압축성 재료로서 압축을 하면 변형이 발생하는 것은 자유면에서 팽창하기 때문에 자유면의 감소는 압축강성의 증가를 유발한다. 핀의 역할은 내측자유면의 부풀음 (bulging)을 방지하는 것이기 때문에 강성 증가에 기여하였다고 판단된다.

정적 실험 결과를 이용하여 디스크의 강성을 추정하기 위해서는 대상교량의 사하중과 작용하는 활하중의 크기를 알아야 한다. 사하중은 교량, 침목 및 레일을 포함하여 총 13.63 ton이다. 따라서 각 교량받침에 작용하는 사하중은 3.41 ton 이다. 작용 가능한 최대 활하중은 일반적인 디젤기관차를 고려하면 28.3 ton 정도이다. 폴리우레탄 디스크의 압축강성을 추정하기 위해서 핀과 미끄럼방지 장치가 있는 경우의 실험 결과를 이용하였다. 기존의 연구에서 제시된 패드의 압축강성 추정기법 (최은수 외, 2005)을 사용하여 추정된 패드의 압축강성이 그림 5에 나타나 있다. 100 ton 재하시의 추정된 압축강성은 218 kN/mm이다.



(a) 디스크 실험 (핀존재)      (b) 디스크실험 (핀제거)      (c) 솔플레이트  
(d) 가력판

그림 3 폴리우레탄 디스크의 정적 재하실험전경 및 솔플레이트



(a) 핀, 솔플레이트 존재 (b) 핀, 솔플레이트 제거 (c) 핀의 존재유무에 따른 거동차

그림 4 폴리우레탄 디스크의 힘-변위 곡선

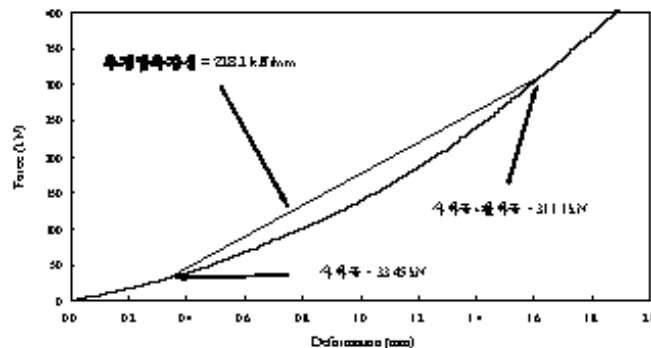


그림 5 폴리우레탄 디스크의 정적 실험을 통한 압축강성 추정

#### 4. 디스크 해석

핀의 존재유무에 따른 폴리우레탄 디스크의 힘-변위 곡선을 이용하여 디스크의 수평강성을 추정하였다. 이를 위해 최대하중이 100 ton인 하중재하 속도 981 kN/min 의 실험을 바탕으로 재료적 특성에 부합하는 비선형해석 모델을 만들고 지점 조건에 따른 해석을 수행하였다. 실험결과에 의한 각 지점조건별 수직 강성추정결과를 바탕으로 해석모델에 대응되는 수직탄성계수를 산정하여 해석을 수행하였다. 그림 6에 해석수행을 위한 주요 경계조건과 재료특성을 나타내었다.

해석 수행결과 그림 7에 나타난 바와 같이 핀의 구속효과와 지점의 마찰효과에 따른 디스크의 응력분포는 구속 유무에 따라서 확연한 차이를 보인다. 핀의 구속이 없는 경우 디스크의 내부에 응력이 집중되는 반면 핀의 구속과 바닥의 마찰력이 존재하는 경우 중앙 핀을 중심으로 점차 외각으로 뺏어나가는 분포를 가진다. 실험에서 추측한 내측자유면의 부풀음 (bulging)을 방지하는 작용에 의한 강성 증가 나타났다고 볼 수 있다. 그러나 실험에서 디스크 중앙부의 핀의 존재유무에 의한 구속효과의 차이는 디스크의 수직강성에 중요한 영향인자로 보기 힘들다. 그림 8(a)에 나타난 바와 같이 오히려 디스크의 상하부의 경계조건의 차이가 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 바닥의 구속조건이 완전부착으로 가정했을 경우 발생하는 차이는 핀의 존재 유무에 따른 차이이다. 그러나 hole(P-D) fix 상태와 hole(P-D) k=0 상태의 차이는 순수한 바닥의 구속조건에 의한 것으로 디스크의 수직강성에 중요한 요인으로 작용하는 것은 바닥의 경계조건임을 알 수 있다. 폴리우레탄 디스크의 실험에서 핀 장치 유무에 따라 30%정도의 디스크 강성 차이를 보인 것은 각 실험시에 사용된 가력판의 차이와 핀의 구속효과와 복합작용에 기인한 것으로 판단된다.

그림 8(b)에 나타나있는 수평구속 조건에 따른 디스크의 수직유�효탄성계수의 관계를 추가적인 해석을 수행하여 표 1에 정리하였다. 조금 더 정확한 값을 얻기 위하여 수평마찰강성을 세밀하게 증분 하여 증가시키면서 수직유�효탄성계수 계산할 수 있다. 따라서 비선형 해석결과임에도 불구하고 선형 보간법을 실시하여 수평마찰강성의 추정이 가능하다. 실험에 근접한 디스크의 수직유�효강성인 98.56 MPa에 해당하는 수평마찰강성은 대략 109.58 N/mm 부근 인 것으로 나타났다.

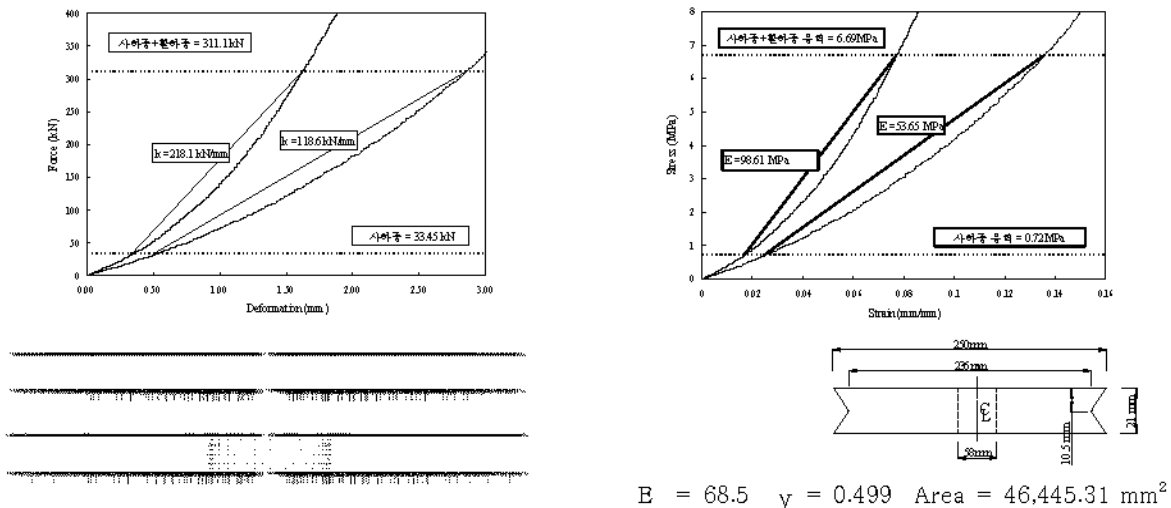


그림 6 해석에 사용된 주요 물성치와 경계조건

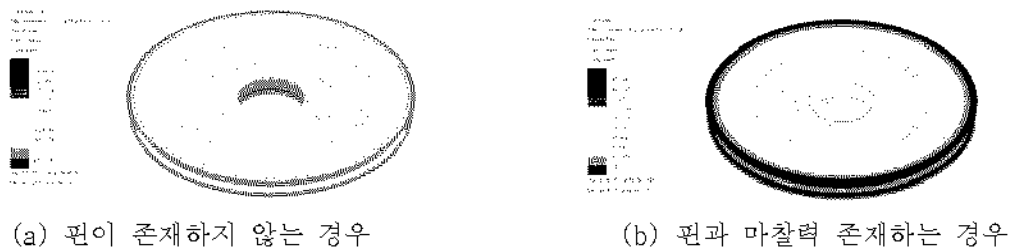
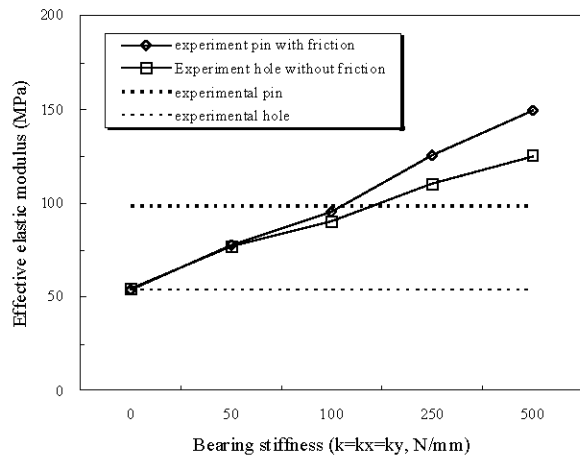
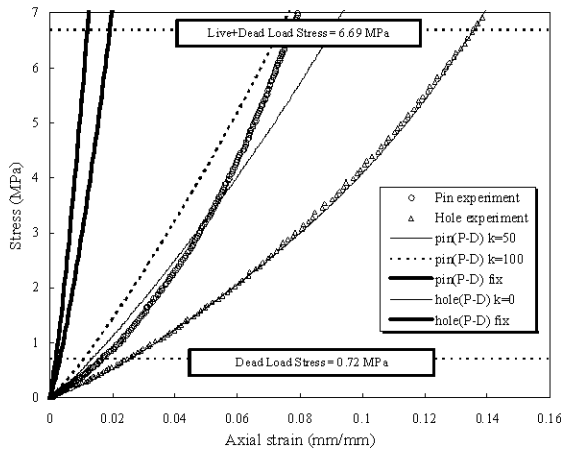


그림 7 경계조건에 따른 디스크의 응력분포



(a) 디스크의 응력-변형률 곡선

(b) 마찰강성변화에 따른 디스크의 유효탄성계수

그림 8 디스크의 수평마찰강성 변화에 따른 유효탄성계수변화

표 1 Linear Interpolation에 의한 디스크의 수평마찰강성

|    | 디스크 수평마찰강성 (N/mm) | 유효탄성계수 (MPa) |        |
|----|-------------------|--------------|--------|
|    |                   | pin          | hole   |
| 실험 | -                 | 98.56        | 54.12  |
| 해석 | 0                 | 54.00        | 54.43  |
|    | 50                | 77.82        | 77.31  |
|    | 100               | 95.22        | 90.24  |
|    | 250               | 125.69       | 110.66 |
|    | 500               | 149.45       | 125.35 |
|    | 1,000             | 168.99       | 136.82 |
|    | 2,500             | 181.20       | 145.13 |
|    | fix               | 593.32       | 374.93 |

## 5. 결론

본 연구에서 디스크 받침용 고무패드의 거동분석을 위하여 폴리우레탄 고무패드에 대한 정적 실험을 통하여 얻어진 하중-변위 곡선으로부터 스프링 강성을 구하였다. 이를 추정하는 과정에서 패드의 거동이 비선형 거동이 관찰되었다. 또한 pre-load에 의한 강성 증가가 관찰 되어 사하중 효과를 고려하였으며, 열차하중에 의한 활하중 효과도 고려하여 해석을 실시하였다. 해석결과 핀 장치 유무에 따른 강성의 변화는 미약한 것으로 나타났으며 패드바닥의 구속조건에 의한 차이가 강성증가의 주요한 원인으로 나타났다. 폴리우레탄 고무패드의 경우, 천연고무와 크로로프렌 고무 패드와는 다른 거동을 보인다. 재료특성상 수직하중에 의한 수평방향 변형이 거의 없으며 경도가 크기 때문에 압축탄성계수가 상대적으로 큰 편이다. 또한 다른 고무에 비하여 내구성과 내충격, 내마모성이 뛰어나다. 이러한 이유로 폴리우레탄 고무는 하중 지지능력이 상대적으로 크기 때문에 특별한 보강작업 없이도 교량의 교좌장치로 사용이 가능하다. 철도교 중 판형교는 PSC 교량 등과는 상당한 특성적 차이가 있는데, 사하중이 매우 작고 활하중이 사하중보다 큰 경량구조의 특징을 가진다. 따라서 본 연구에서 수행된 가정과 조건은 디스크 받침이 판형교에 사용되었을 때의 경우에 해당하며, 교량의 교좌장치로 사용될 경우 해석 결과에서 나타난 바와 같이 받침 지지부의 마찰력을 변화시킴으로서 수직강성의 조절이 가능하다. 이를 조절할 수 있는 적절한 장치와 함께 교좌장치로 활용될 경우 내진능력 향상에도 크게 도움이 될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 박성우, 유승규, 최은수 (2008), “관형교에서 개량된 스페리칼받침의 유지보수 및 동적 거동”, 한국철도학회 2008년도 춘계학술대회논문집, 2008. 6, pp. 1716-1721
2. 오세환, 최은수, 정희영 (2005), “철도교용 고무패드의 강성 추정기법”, 한국강구조학회 논문집, 제17 권 3호, pp.307-316.
3. 최은수, 김현민, 오지택, 김성일 (2005), “철도교용 고무패드 설치에 따른 관형교의 동적 거동 분석”, 한국강구조학회 논문집, 제17권 3호, pp.295-306.
4. 최은수, 김현민, 오지택, 김성일 (2005), “철도교용 고무패드의 특성 및 강성 추정기법”, 한국철도학회 2005년도 춘계학술대회논문집, 2005. 5, pp. 74-81
5. 최은수, 오지택, 김현민 (2007), “철도 관형교에서 스페리칼받침의 유지보수 및 동적 거동”, 한국철도학회 학술발표대회논문집 한국철도학회 2007년도 춘계학술대회논문집, 2007. 5, pp. 35-44
6. AASHTO (1996). AASHTO LRFD bridge design specifications, Washington, D.C.
5. 한국철도기술연구원 (2001), “강철도구조물 건전도진단시스템 분야 연구보고”, 한국철도기술연구원
7. Burpulis J.S., Seay, J.R. and Graff, R.S. (1990). “Neoprene in Bridge Bearing Pads- The ProvenPerformance,” Extending the Life of Bridges, ASTM STP 1100, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 32-43.
8. Heymsfield, E., McDonald, J. and Avent R.R. (2001). "Neoprene Bearing Pad Slippage at Louisiana Bridges," Journal of Bridge Engineering, ASCE Vol. 6, No. 1, January/February, pp.30-36.
9. Roeder, C.W. Stanton, J.F. and Taylor, A.W. (1987). “Performance of elastomeric bearings,” NCHRP Rep. No. 298, Transportation Research Board, Washington, D.C.
10. Stanton, J.F. and Roeder, C.W. (1985). "Elastomeric bearings design, construction, and materials," NCHRP Rep. No. 248, Transportation Research Board, Washington, D.C.
11. Yazdani, N., Fellow, P.E., Eddy, S. and Chun, S. (2000). "Effect of Bearing Pads on Precast Prestressed Concrete Bridges," Journal of Bridge Engineering, ASCE, Vol. 5, No. 3, August, pp.224-232.